

**TRABAJO FIN DE GRADO**

---

**GRADO EN  
VETERINARIA**

Caracterización bioquímica y endocrinológica durante  
la lactación en la yegua de Pura Raza Española

Alumno: Javier Gómez Aguilera

Tutor: Dr. Antonio Calvo Capilla

5º Veterinaria 2020-2021



Facultad de Veterinaria  
y Ciencias Experimentales  
Universidad Católica de Valencia  
San Vicente Mártir



# ÍNDICE

<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>5. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>6</b>
5.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....	6
5.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN .....	6
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>7</b>
6.1. ENDOCRINOLOGÍA DURANTE LA LACTACIÓN .....	8
6.1.1. CONCENTRACIONES HORMONALES DURANTE LA LACTACIÓN.....	8
6.1.1.1. ESTRADIOL-17 $\beta$ .....	8
6.1.1.2. PROGESTERONA .....	8
6.1.1.3. CORTISOL .....	10
6.2. BIOQUÍMICA SANGUÍNEA DURANTE LA LACTACIÓN .....	11
6.2.1. SUBSTRATOS Y METABOLITOS SANGUÍNEOS DURANTE LA LACTACIÓN .....	11
6.2.1.1. PROTEÍNAS PLASMÁTICAS TOTALES.....	11
6.2.1.2. ALBÚMINA .....	13
6.2.1.3. GLOBULINAS .....	14
6.2.1.4. BILIRRUBINA TOTAL.....	14
6.2.1.5. COLESTEROL .....	14
6.2.1.6. TRIGLICÉRIDOS .....	15
6.2.1.7. GLUCOSA .....	16
6.2.1.8. UREA .....	16
6.2.1.9. CREATININA .....	17
6.3. ELECTROLITOS Y MINERALES DURANTE LA LACTACIÓN .....	18
6.3.1. SODIO .....	18
6.3.2. POTASIO .....	19
6.3.3. CLORO .....	19
6.3.4. CALCIO.....	20
6.3.5. FÓSFORO .....	21
6.3.6. MAGNESIO .....	22
6.4. ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS DURANTE LA LACTACIÓN .....	23
6.4.1. CREATIN KINASA.....	23
6.4.2. ASPARTATO AMINOTRANSFERASA .....	24
6.4.3. FOSFATASA ALCALINA .....	24
6.4.4. GAMMA GLUTAMIL TRANSFERASA.....	25
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>26</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>27</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Gráfica de antigüedad de las referencias tomadas para la realización de este estudio.	7
<b>Figura 2.</b> Gráfica sobre los cuartiles de los artículos utilizados para esta revisión.....	7
<b>Figura 3.</b> Gráfica de evolución diaria de la concentración de progestágenos [ng/ml] en yeguas gestantes. ....	9
<b>Figura 4.</b> Gráfica de evolución mensual de la concentración de P4 [ng/ml] en yeguas gestantes y en lactación de PRE .....	10
<b>Figura 5.</b> Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de ALB [g/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE.. ....	13
<b>Figura 6.</b> Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de TG [mg/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE.. ....	15
<b>Figura 7.</b> Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de CREAT [mg/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE. ....	17
<b>Figura 8.</b> Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de P [mg/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE. ....	21
<b>Figura 9.</b> Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de Mg [mg/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE .....	22



# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar (valores máximos y mínimos entre paréntesis) de las concentraciones de hormonas durante los 4 meses de lactación (L-1 a L-4) en yeguas PRE.. 8

**Tabla 2.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar (valores máximos y mínimos entre paréntesis) de las concentraciones de sustratos y metabolitos durante los 4 meses de lactación (L-1 a L-4) en yeguas PRE ..... 11

**Tabla 3.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar (valores máximos y mínimos entre paréntesis) de las concentraciones de electrolitos y minerales durante los 4 meses de lactación (L-1 a L-4) en yeguas PRE ..... 18

**Tabla 4.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar (valores máximos y mínimos entre paréntesis) de las actividades enzimáticas durante los 4 meses de lactación (L-1 a L-4) en yeguas PRE ..... 23

## LISTADO DE ABREVIATURAS

- ALB; Albúmina
- AST; Aspartato aminotransferasa
- BIL; Bilirrubina
- BUN; Nitrógeno ureico en sangre, urea
- Ca; Calcio
- CHOL; Colesterol
- CK; Creatin kinasa
- Cl; Cloro
- CORT; Cortisol
- CREAT; Creatinina
- dl; Decilitros
- E2; Estradiol-17- $\beta$
- FAL; Fosfatasa alcalina
- GGT;  $\gamma$ -Glutamyl transferasa
- GLOB; Globulinas
- GLU; Glucosa
- K; Potasio
- kg; Kilogramo
- Mg; Magnesio
- mg; Miligramos
- ml; Mililitros
- mm; Milímetros
- Na; Sodio
- P; Fósforo
- P4; Progesterona
- pg; Picogramos
- PPT; Proteínas plasmáticas totales
- PRE; Pura Raza Española
- PSI; Pura Sangre Inglés
- TG; Triglicéridos
- $\mu$ l; Microlitros



## **1. RESUMEN**

Los momentos del parto y la lactación suponen un estrés metabólico y nutricional en mamíferos. En yeguas además, se le añaden que pueden empezar una gestación tan solo unos días después del parto. Controlar los parámetros endocrinos y bioquímicos, así como metabolitos y enzimas presentes en la sangre puede ayudar a conocer la fisiología reproductiva de las yeguas. Esta revisión bibliográfica busca comparar los diferentes estudios sobre endocrinología y bioquímica sanguínea entre yeguas sanas de Pura Raza Española y otras razas. De todos los parámetros estudiados tan solo se han visto diferencias estadísticamente significativas en la tendencia de los triglicéridos durante la lactación y entre los valores de gestación y lactación en el caso de progesterona, fósforo, magnesio, creatinina y albúmina. El hecho de que tan solo 6 de los 22 parámetros estudiados haya sufrido variaciones sugiere un notable equilibrio metabólico de la yegua durante la lactación. En los estudios consultados sobre yeguas sanas de otras razas se han encontrado diferentes resultados, algo que puede deberse a las distintas condiciones ambientales o a las diferentes metodologías aplicadas.

**Palabras clave:** *Yegua, PRE, Lactación, Fisiología, Hormonas, Bioquímica.*

## **2. ABSTRACT**

The moments of parturition and lactation present a metabolic and nutritional stress in mammals. In addition, mares can start another gestation just a few days after giving birth. Controlling endocrine and biochemical parameters, as well as metabolites and enzymes present in the blood, can help understanding the reproductive physiology of mares. This bibliographic review compares the different studies on endocrinology and blood biochemistry between healthy PRE mares and other breeds. Of all the parameters that have been studied, only statistically significant differences have been seen in the trend of triglycerides during lactation and between pregnancy and lactation values in the case of progesterone, phosphorus, magnesium, creatinine and albumin. The fact that only 6 of the 22 parameters studied have undergone variations suggests a remarkable metabolic balance in the mare during lactation. In the consulted studies on healthy mares of other breeds, different results have been found, something that may be due to the different environmental conditions or the different methodologies applied.

**Keywords:** *Mare, PRE, Lactation, Physiology, Hormones, Biochemistry.*

### 3. INTRODUCCIÓN

El momento del parto y del postparto son momentos críticos en cuanto al metabolismo de la yegua, ya que se estima que la producción de leche aumenta un 75% las necesidades nutricionales de la madre. Aunque no sea objeto de este estudio, la composición de la leche es un punto clave tanto para saber qué necesidades tiene el potro como para saber las pérdidas de nutrientes de la madre (Oftedal, Hintz y Schryver, 1983; Schryver *et al.*, 1986; Davison, Potter, Greene, Evans y McMullan, 1991). Además, la composición de esta leche no es constante a lo largo de toda la lactación, sino que va variando, siendo uno de los cambios más notables el aumento de la glucosa (GLU) en las etapas finales de la lactación (Oftedal *et al.*, 1983). Los estudios de Doreau, Boulot, Barlet y Patureau-Mirand (1990), Kubiak, Evans, Potter, Harms y Jenkins (1991), Burns, Gibbs y Potter (1992) y McCue (1993) reflejaron que una yegua de tamaño medio tiene una producción media diaria de leche de entre 15 y 20 kg, pudiendo llegar en algunos casos hasta 40 kg. Esto va a durar normalmente entre 5 y 7 meses y contamos en muchos casos con una gestación desde la primera semana postparto.

Esto evidencia el desgaste físico y metabólico de estos animales durante la lactación, que podría resultar en animales con una pérdida de condición corporal. Esta última afirmación la defiende Burkholder (2000), mientras que otros autores, como Heidler *et al.* (2003), afirman que las razas medianas pueden compensar esta dificultad con una mayor ingesta durante la lactación. Dejando a un lado estas ideas, se sabe por los estudios de Burkholder (2000), que cuando una yegua pare o empieza una estación reproductiva con una condición corporal insuficiente o si existen alteraciones nutricionales, se quedarán gestantes con más dificultad y necesitarán más tiempo para concebir. Los estudios de Henneke, Potter y Kreider (1984), afirman que, si el peso y la condición corporal son correctas, llevarán mejor la gestación que las yeguas más delgadas. Es decir, la condición corporal está muy relacionada con la viabilidad de la gestación, la calidad de la lactación y una mejor eficiencia reproductiva.

En la yegua, el momento del parto es un período de grandes cambios hormonales que confluyen para que se produzca el nacimiento del potro. Para el potro también supone un gran cambio al nuevo entorno: comienza la respiración a través de los pulmones, no hay circulación fetal y la nutrición es totalmente distinta a la de antes de haber nacido. En el momento del parto tanto yegua como potro son más susceptibles a padecer enfermedades infecciosas (fiebre puerperal y endometritis en el caso de las hembras y diarrea, neumonía e infección del ombligo en el de los potros) o metabólicas (en yeguas hiperlipidemia, hepatopatía subclínica y

trastornos reproductivos causados por desnutrición, transferencia pasiva de inmunidad al calostro deficiente...) (Aoki e Ishii, 2012).

Dicho esto, se sabe que la yegua sufrirá cambios en cuanto al balance energético durante la lactación, que la composición de su leche variará durante este tiempo y que, como la yegua suele iniciar una nueva gestación durante este mismo periodo (Crowell-Davis, 2007; Bartosova, Komorkova, Dubcova, Bartos y Pluhacek, 2011), podemos pensar que todos estos acontecimientos se verán reflejados en los parámetros laboratoriales clínicos de las yeguas Pura Raza Española (PRE). Para monitorizar estos presuntos cambios estaría indicado realizar un estudio seriado ya sea mensual o bimensual ya que todos estos cambios pueden influir tanto en parámetros bioquímicos o endocrinos, entre otros (Calvo, 2012).

El ánimo de este trabajo se centra en los campos de la fisiología y la medicina preventiva, ya que los diferentes parámetros dentro de la endocrinología o bioquímica pueden ayudarnos a ver qué sustancias están más alteradas y realizar un manejo para su corrección en el caso de que sea necesario.

## **4. OBJETIVOS**

Como se ha citado en la introducción, el periodo de lactación supone una demanda energética superior para la yegua, que se debe a la energía necesaria para la producción láctea, cuya composición no es constante y varía conforme a las necesidades del potro, además del comportamiento reproductivo propio de la yegua, que le permite iniciar una nueva gestación en las primeras etapas de la lactación.

Por todo ello, el objetivo principal es reunir información y analizar las variaciones en los perfiles bioquímico y endocrino de la yegua PRE a lo largo de los primeros meses de lactación, comparándolos entre sí, así como los últimos 3 meses de gestación.

De forma específica, los objetivos particulares de este trabajo son:

- PRIMERO. Conocer los valores de referencia más utilizadas clínicamente para las variables bioquímicas y endocrinológicas en yeguas PRE a lo largo de la lactación y evaluar cómo la lactación afecta a los parámetros incluidos en esta revisión.
- SEGUNDO. Analizar si hay diferencias significativas entre los últimos meses de gestación, cuando la exigencia nutricional sobre la madre empieza a intensificarse y llega a su punto máximo durante la lactación.
- TERCERO. Analizar si los cambios hormonales durante la lactación son causas que afectan a las variaciones analíticas de la yegua PRE gestante.
- CUARTO. Analizar y comparar los datos de perfil bioquímico y endocrino de PRE con otros estudios realizados sobre otras razas equinas en el mismo estado fisiológico.

## **5. MATERIAL Y MÉTODOS**

Para llevar a cabo la revisión bibliográfica, se realizó la búsqueda de artículos científicos en bases de datos de libre acceso. Se realizaron varias búsquedas en las bases de datos Pubmed y Google Académico utilizando diferentes ecuaciones y se terminó utilizando los conceptos de búsqueda en inglés, “mare, lactation, endocrinology, biochemical”, además de añadir a los criterios de búsqueda de forma individual cada uno de los parámetros para aumentar el número de estudios incluidos.

### **5.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

- Artículos, libros y tesis doctorales que reúnan y expliquen temas relacionados con los valores clínicos de yeguas en lactación.
- Artículos publicados en inglés y/o castellano.
- Trabajos de investigación específicos sobre parámetros laboratoriales de yeguas en lactación.
- Artículos en cuyo contenido se contemple la bioquímica, la endocrinología reproductiva equina, la actividad enzimática o la concentración de minerales y metabolitos.

### **5.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

- Artículos cuyo acceso al texto completo se encuentre restringido.
- Artículos que no reúnan los parámetros estudiados.
- Artículos que no traten sobre valores fisiológicos sino de situaciones patológicas o inducidas artificialmente.

### **5.3. ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO**

El análisis bibliométrico es el método para valorar la inclusión o exclusión de las diferentes fuentes en la revisión. Una vez superados los criterios de inclusión y exclusión que se han comentado previamente, se analizaron las fuentes utilizadas, según la antigüedad y la relevancia según el cuartil al que pertenecían.

Así pues, para la realización de este estudio se utilizaron 63 referencias. Como vemos en la Figura 1, clasificamos las fuentes según su antigüedad, agrupándolas en intervalos de 10 años. Lo ideal sería que todas nuestras fuentes estuvieran concentradas en las dos últimas décadas, pero no es del todo así. Los estudios sobre la fisiología y la dinámica endocrina y bioquímica de la yegua han perdido interés estos últimos años en contraposición de los procesos de inducción artificial

de la lactación. Por tanto, y de acuerdo con los criterios de exclusión, no se han tomado estos artículos como fuente por no pertenecer a estudios de fisiología propiamente dicho.

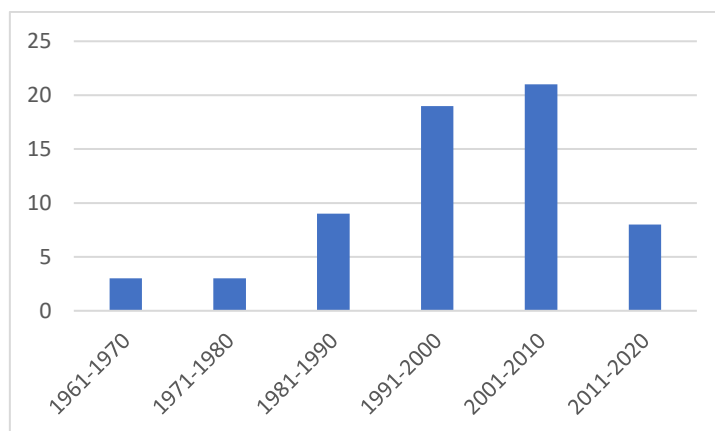


Figura 1. Gráfica de antigüedad de las referencias tomadas para la realización de este estudio.

Una vez aceptadas estas 63 fuentes, entre las que se incluyen dos libros y una tesis doctoral, se analizaron los artículos según la relevancia científica de cada revista. Para ello, se hizo uso del buscador de la página de Scimago Journal & Country Rank (SJR) para clasificar las revistas científicas en cuartiles (Q1, Q2, Q3 y Q4). Lo ideal sería tener la mayoría de las referencias de Q1 y no tener o tener las mínimas de Q4. Como vemos en la Figura 2, esta revisión tiene la mitad aproximadamente del Q1 (49%), seguido de casi un tercio de Q2 (32%), menos de un cuarto de Q3 (17%) y tan solo una cita de Q4 (2%).

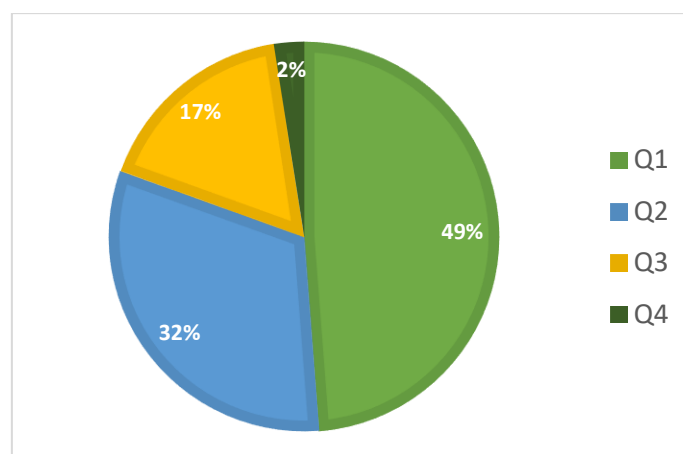


Figura 2. Gráfica sobre los cuartiles de los artículos utilizados para esta revisión.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. ENDOCRINOLOGÍA DURANTE LA LACTACIÓN

#### 6.1.1. CONCENTRACIONES HORMONALES DURANTE LA LACTACIÓN

En la Tabla 1 vemos los valores medios de cada parámetro de este capítulo. Más adelante se explicarán parámetro a parámetro las diferencias observadas en yeguas en lactación de PRE y otras razas.

Tabla 1. Valores medios  $\pm$  desviación estándar (valores máximos y mínimos entre paréntesis) de las concentraciones de hormonas durante los 4 meses de lactación (L-1 a L-4) en yeguas PRE (Calvo, 2012).

Parámetro (unidades)	L-1	L-2	L-3	L-4
E2 (pg/ml)	74,02 $\pm$ 146,2 (0,090-371,4)	80,11 $\pm$ 75,10 (15,78-205,5)	44,67 $\pm$ 26,90 (10,23-81,68)	79,21 $\pm$ 85,72 (10,72-186,2)
P4 (ng/ml)	15,98 $\pm$ 11,24 (2,650-35,19)	24,49 $\pm$ 8,856 (15,93-40,25)	12,72 $\pm$ 14,77 (0,260-35,94)	14,24 $\pm$ 10,18 (4,500-29,84)
CORT (ng/ml)	77,91 $\pm$ 98,04 (15,19-273,7)	31,36 $\pm$ 15,77 (13,61-54,62)	43,50 $\pm$ 22,12 (26,22-70,46)	37,63 $\pm$ 30,78 (8,950-88,36)

##### 6.1.1.1. ESTRADIOL-17 $\beta$

Las mediciones de Estradiol-17- $\beta$  (E2) en yeguas PRE fluctuaron entre 44.67 y 80.11 pg/mL durante los cuatro primeros meses de lactación. No se observaron diferencias significativas ni durante la lactación ni en comparación con el final de la gestación (Calvo, 2012).

La raza equina tiene una particularidad, es capaz de compaginar la presencia del potro y su lactación con un nuevo celo, que suele ocurrir antes de los 15 días tras el parto (Hess-Dudan *et al.*, 1994; Heidler, Aurich, Pohl y Aurich, 2004; Deichsel y Aurich, 2005). Por lo tanto, ya que el anestro lactacional no es una condición fisiológica del parto (Neuschaefer, Bracher y Allen, 1991), la superposición de ciclos estrales en yeguas puede hacer fluctuar los valores de E2 (Ginther, Beg, Gastal y Gastal, 2004; Heidler *et al.*, 2004).

##### 6.1.1.2. PROGESTERONA

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a los niveles de la Progesterona (P4) en PRE, siendo superiores los valores en lactación respecto a los últimos



meses de gestación. El valor máximo de P4 se alcanzó en el segundo mes de lactación (Calvo, 2012).

El valor de P4 está relacionado con la luteinización de las células de la granulosa después del pico de LH, inducido por estrógenos al final del estro (Nagy *et al.*, 2004; Shirazi, Naslaji y Bolourchi, 2004; Bergfelt y Adams, 2007). Hay gran variabilidad de concentraciones de P4 durante el ciclo estral de la yegua debido a la capacidad secretora del cuerpo lúteo. También se relaciona esta variación con la tasa metabólica de la P4 (Squires, Wentworth y Ginther, 1974). La P4 en yeguas no gestantes puede verse afectada por distintos factores como son el día del ciclo, la estación del año, el número de ovulaciones y el momento específico de la segunda ovulación. La madurez del cuerpo lúteo alcanza su madurez sobre el día 5 post-ovulación, reflejándose laboratorialmente por su pico de P4 en sangre (Nagy *et al.*, 2004).

El estudio de Ousey (2004) registró los valores diarios de progestágenos en yeguas de forma diaria. La evolución durante la lactación fue creciente hasta alcanzar un pico en los últimos días o incluso horas antes del parto. La diferencia de metodologías (mensual y diarias) puede hacer que este fenómeno pase desapercibido en el estudio sobre yeguas PRE de Calvo (2012). Como podemos ver en las Figuras 3 y 4, la tendencia en ambos estudios hacia el final de la gestación es a aumentar el nivel de P4 en sangre, pero las mediciones mensuales de Calvo (2012) no reflejan el pico previo al parto y su posterior descenso. Además, los valores medios de Ousey (2004) en cuanto a niveles de P4 en sangre son ligeramente inferiores a los de Calvo (2012).

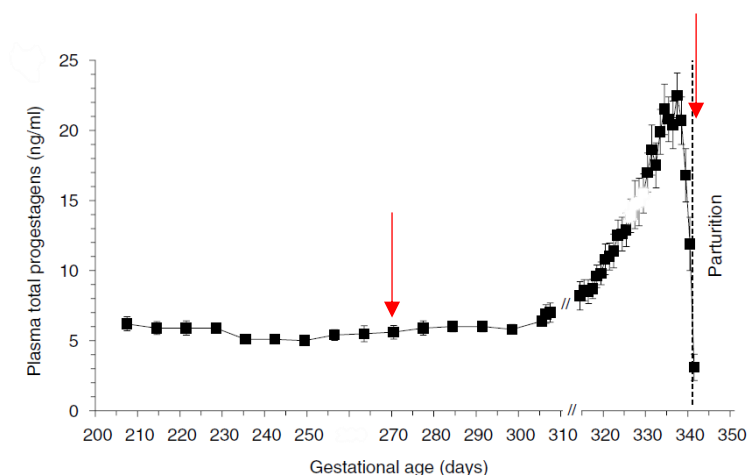


Figura 3. Gráfica de evolución diaria de la concentración de progestágenos [ng/ml] en yeguas gestantes. Adaptado de Ousey (2004). Las flechas indican el periodo de tiempo que tienen en común este estudio y el de Calvo (2012) para su posterior comparación.

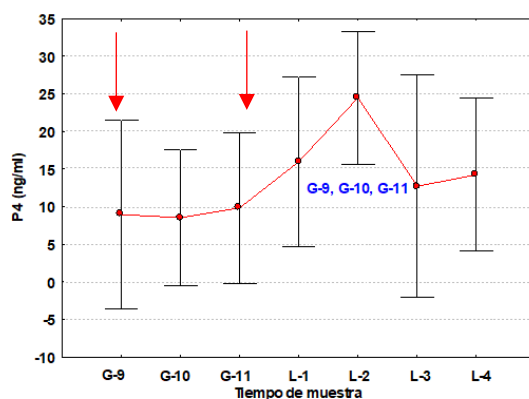


Figura 4. Gráfica de evolución mensual de la concentración de P4 [ng/ml] en yeguas gestantes y en lactación de PRE. Adaptado de Calvo (2012). Las flechas indican el periodo de tiempo que tienen en común este estudio y el de Ousey (2004) para su posterior comparación. En azul, las diferencias significativas de los valores entre los meses indicados.

#### 6.1.1.3. CORTISOL

En yeguas PRE en lactación, Calvo (2012) no reportó diferencias en los niveles de Cortisol (CORT) significativas ni entre los cuatro primeros meses de la lactación ni respecto a los valores del final de la gestación.

En otras razas se observaron valores ligeramente inferiores (Gill, Kaompanowska-Jeziersk, Jakubow, Kott y Szumska, 1985; Flisińska-Bojanowska, Gill y Grzelkowska, 1992; Hoffman, Kronfeld, Cooper y Harris, 2003; Harvey, Pate, Kivipelto y Asquith, 2005; AboEl-Maaty, 2011), si bien estas diferencias se pueden atribuir a la influencia de distintos factores ambientales o al método analítico de cada estudio (Aurich, 2011).

Hoffman *et al.* (2003) encontraron una evolución decreciente desde el principio de la lactación respecto al final de este periodo. Este fenómeno lo relacionaron con el incremento de los requerimientos mamarios de GLU durante la lactación temprana. Cabe destacar que en yeguas la lactosa se encuentra en mayor proporción que en otras especies como la vaca (Ullrey, Struthers, Hendricks y Brent, 1966; Naylor y Bell, 1985).

## 6.2. BIOQUÍMICA SANGUÍNEA DURANTE LA LACTACIÓN

### 6.2.1. SUBSTRATOS Y METABOLITOS SANGUÍNEOS DURANTE LA LACTACIÓN

En la Tabla 2 vemos los valores medios de cada parámetro de este capítulo. Podemos ver en negrita los valores máximos o mínimos que se exceden de los valores de referencia para PRE (Muñoz, Riber, Trigo, Castejón, 2012). Más adelante se explicarán parámetro a parámetro las diferencias observadas en yeguas en lactación de PRE y otras razas.

Tabla 2. Valores medios  $\pm$  desviación estándar (valores máximos y mínimos entre paréntesis) de las concentraciones de substratos y metabolitos durante los 4 meses de lactación (L-1 a L-4) en yeguas PRE. Valores de referencia publicados para caballos PRE adultos (Calvo, 2012).

Parámetro (unidades)	L-1	L-2	L-3	L-4	Valores de referencia
<b>PPT (g/dl)</b>	6,997 $\pm$ 0,545 ( <b>5,400</b> -7,600)	7,012 $\pm$ 0,328 (6,200-7,600)	7,109 $\pm$ 0,425 (6,200-7,600)	6,970 $\pm$ 0,396 (6,200-7,600)	5,500-7,600
<b>ALB (g/dl)</b>	3,551 $\pm$ 0,401 (2,330-3,940)	3,433 $\pm$ 0,309 (2,970- <b>4,150</b> )	3,431 $\pm$ 0,391 (2,330- <b>4,090</b> )	3,522 $\pm$ 0,290 (3,140- <b>4,150</b> )	1,950-3,500
<b>GLOB (g/dl)</b>	3,672 $\pm$ 0,803 (2,500- <b>5,000</b> )	3,876 $\pm$ 0,685 (3,000- <b>5,700</b> )	3,820 $\pm$ 1,029 (2,700- <b>6,500</b> )	3,813 $\pm$ 0,630 (3,100- <b>5,500</b> )	2,400-4,600
<b>BIL (mg/dl)</b>	0,969 $\pm$ 0,464 (0,310-2,120)	1,066 $\pm$ 0,486 (0,480-2,130)	0,736 $\pm$ 0,341 (0,330-1,470)	0,899 $\pm$ 0,543 (0,310-2,130)	0,3-3,0
<b>CHOL (mg/dl)</b>	94,20 $\pm$ 21,60 ( <b>42,00</b> -133,0)	99,76 $\pm$ 12,16 (76,00-121,0)	94,36 $\pm$ 17,54 ( <b>42,00</b> -121,0)	100,8 $\pm$ 12,61 (78,00-127,0)	70,9-141,9
<b>TG (mg/dl)</b>	21,12 $\pm$ 36,27 (12,70- <b>80,00</b> )	17,15 $\pm$ 31,66 (15,00- <b>73,20</b> )	12,71 $\pm$ 15,34 ( <b>9,700</b> -40,00)	12,09 $\pm$ 14,84 ( <b>9,300</b> -44,00)	11,0-48,00
<b>GLU (mg/dl)</b>	90,06 $\pm$ 10,91 (80,00-116,0)	93,53 $\pm$ 10,77 (82,00-103,0)	95,60 $\pm$ 17,01 (82,00-131,0)	95,22 $\pm$ 16,03 (83,00-116,0)	77,00-136,0
<b>BUN (mg/dl)</b>	31,26 $\pm$ 7,790 (16,70- <b>44,00</b> )	30,85 $\pm$ 7,033 (18,18- <b>46,60</b> )	29,93 $\pm$ 5,723 (17,72- <b>41,70</b> )	29,23 $\pm$ 6,560 (20,00- <b>42,20</b> )	16,00-37,00
<b>CREAT (mg/dl)</b>	1,346 $\pm$ 0,349 (0,880- <b>2,100</b> )	1,545 $\pm$ 0,494 (0,890- <b>1,950</b> )	1,357 $\pm$ 0,341 ( <b>0,700</b> - <b>1,870</b> )	1,451 $\pm$ 0,263 (0,900-1,800)	0,750-1,840

#### 6.2.1.1. PROTEÍNAS PLASMÁTICAS TOTALES

Los valores de Proteínas Plasmáticas Totales (PPT) aumentan en el período final de la gestación y se acentúa en el momento del parto según los estudios de Özpınar, Susut y Firat, (2004) en yeguas árabes y Aoki e Ishii (2012) en percheronas. El valor durante la lactación es ligeramente mayor que durante la gestación y el parto, lo que se produce seguramente por la normalización

del volumen plasmático durante la lactación, aunque no todos los autores lo describen (Holtan, Nett y Estergreen, 1975; Felbinger, 1987; Harvey *et al.*, 1994).

La lactación supone un compromiso metabólico, en concreto de la reserva proteica, ya que la síntesis de leche por parte de las células secretoras de la glándula mamaria necesita aproximadamente el 80% de los metabolitos circulantes en la sangre. La disponibilidad y la velocidad de filtración de los distintos aminoácidos libres y proteínas (denominados precursores) determinan la composición proteica de la leche de la yegua (Karapehlivan, Atakisi, Atakisi, Yucaurt y Pancarci, 2007).

La disminución sustancial de PPT a las 2-3 semanas postparto se atribuye a una depleción proteica de la madre, ya que las inmunoglobulinas toman un papel fundamental en las variaciones del nivel de proteínas en leche. Esto se debe, según Korhonen, Marnila y Gill (2000), a que las inmunoglobulinas representan entre el 70 y el 80% de la porción proteica, proporcionando una inmunidad pasiva al neonato.

En los resultados obtenidos por Calvo (2012) sobre yeguas PRE no se encontraron variaciones significativas desde el primer al cuarto mes de lactación. Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Özpınar *et al.* (2004) en yeguas árabes y por Harvey *et al.* (1994), Taylor-MacAllister, MacAllister, Walker y Aalseth (1997) y Harvey *et al.* (2005) en yeguas PSI, standardbred, silla americano y morgan. Aunque los datos obtenidos en PRE difieren de los obtenidos en yeguas de raza kathiawari (Kumar, Kumar y Singh, 2002). En estudios realizados sobre yeguas Polish Coldblood sí que se aprecia un aumento significativo en las 24 horas próximas al parto, que descendió a los 9 días del parto (cuando estaban en celo) y 9 días tras la ovulación volvió a caer (Krakowski *et al.*, 2020). Aoki e Ishii (2012) también reportaron una subida de las PPT en el momento del parto en un estudio sobre diferentes razas de yeguas (percherón, belga, bretón). Eckersall (2008) relacionó este aumento en el momento del parto con una deshidratación causada por la expulsión de la placenta, feto y anejos fetales durante el parto. La estabilidad de los datos en los cuatro primeros meses de la lactación por Calvo (2012) en yeguas PRE podría explicarse por haber logrado cubrir las necesidades nutricionales de la yegua y por tomar los datos de forma mensual y no centrarse en los momentos más próximos al parto, como Aoki e Ishii (2012) o Krakowski *et al.* (2020).

### 6.2.1.2. ALBÚMINA

Al igual que en el caso de los PPT, diferentes estudios evidenciaron una subida en los valores de Albúmina (ALB) en el momento del parto, tanto en yeguas árabes (Özpınar *et al.*, 2004) como en percheronas (Aoki e Ishii, 2012). Este incremento se atribuye a la deshidratación y su posterior descenso se explicaría con la recuperación de la volemia. Aoki e Ishii (2012) reportaron un aumento de albúmina en el momento del parto que se mantuvo hasta el día 1 de vida del potro, momento en el que alcanzó valores mínimos y tras esto volvió a aumentar. Los aumentos de albúmina, al igual que en PPT también se relacionan con momentos de deshidratación; y el descenso posterior, a la hemodilución relativa causada por una mayor circulación por las exigencias nutricionales del calostro (Eckersall, 2008).

En la gráfica representada en la Figura 5 podemos ver que los datos de ALB en sangre de los meses 2 y 3 de la lactación de la yegua son significativamente menores si lo relacionamos con el último mes de gestación.

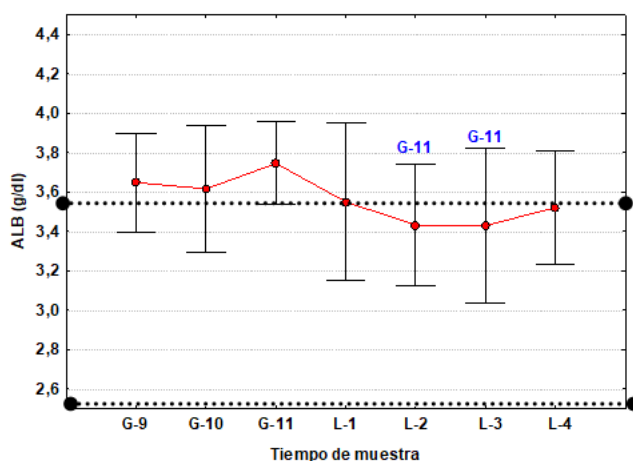


Figura 5. Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de ALB [g/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE. Las líneas punteadas reflejan los límites de los valores de referencia para caballos PRE adultos. En azul, las diferencias significativas de los valores entre los meses indicados (Calvo, 2012).

En PRE con mediciones mensuales durante los cuatro primeros meses de lactación, los valores se mantuvieron estables. Sin embargo, las mediciones de los meses 2 y 3 de la lactación fueron significativamente menores, en comparación con los registros durante el último mes de gestación (Calvo, 2012).

#### **6.2.1.3. GLOBULINAS**

Las globulinas (GLOB) totales se incrementan en el momento del parto (Aoki e Ishii, 2012). La fracción  $\beta$ , que incluye inmunoglobulinas (IgA-IgM), participa en procesos inflamatorios y son transportados a la glándula mamaria para la síntesis del calostro. Debido a esto, la ratio ALB/GLOB se incrementa conforme avanza el periodo de la lactación (Piccione, Alberghina, Marafioti, Giannetto, Casella, Assenza y Fazio, 2012).

En yeguas PRE, el estudio de Calvo (2012) no evidenció variaciones significativas ni datos diferentes a los de los últimos meses de gestación. Cabe destacar que estas tomas fueron mensuales y puede que, debido a la metodología del estudio, no se hallaron cambios puntuales en el momento del parto.

#### **6.2.1.4. BILIRRUBINA TOTAL**

La respuesta de la bilirrubina total (BIL) a la lactación de la especie equina presenta grandes diferencias entre los estudios consultados. Calvo (2012) obtuvo valores medios similares en PRE que los de Harvey *et al.* (2005) sobre yeguas PSI, standardbred, silla americano y morgan. En cuanto a la tendencia de los valores a lo largo de la lactación no se observan diferencias significativas durante estos meses en PRE (Calvo, 2012). En otras razas, autores como Harvey *et al.* (2005) reportaron un descenso de este parámetro a lo largo de la lactación, justificándolo con una disminución de la capacidad hepática de la yegua y modificaciones en su absorción digestiva.

Por el contrario, Felbinger (1987) encontró una tendencia creciente en este valor, hacia la mitad del periodo de lactación.

#### **6.2.1.5. COLESTEROL**

En los estudios de Calvo (2012) se obtuvieron valores medios de colesterol (CHOL) durante la lactación superiores a los aportados por Felbinger (1987), Kumar *et al.* (2002) y Aoki e Ishii (2012), pero inferiores a los de Özpınar *et al.* (2004).

En PRE no se encontraron diferencias significativas en los valores desde los últimos meses de gestación hasta el cuarto mes de lactación, lo que confirma los resultados de Gul, Ahmad, Khan, Hussain (2007) (Calvo, 2012). Sin embargo, Aoki e Ishii (2012) reportaron que los valores de CHOL eran inferiores tras el parto y lo relacionaron al inicio de la lactación y al aumento de la demanda energética que esta supone. Los resultados del estudio de Krakowski *et al.* (2020) hicieron ver que el CHOL presenta su valor más alto 24 horas después del parto y sufre dos

descensos: a los nueve días tras el parto y 9 días después de la ovulación. Otros estudios que también encontraron diferencias notables fueron los de Schweigert y Gottwald (1999), Kumar *et al.* (2002) y Özpınar *et al.* (2004).

Cabe destacar que el CHOL puede verse afectado por gran cantidad de factores intrínsecos (cantidad de alimento ingerido, nivel de absorción intestinal, síntesis hepática, metabolismo del organismo, grado de excreción vía biliar o vía fecal, edad, número de partos) y extrínsecos (ambiente, estación, recogida de muestra y método analítico) por lo tanto, todas estas variables podrían haber afectado a cada estudio y por ello esta comparación no resulta del todo clara.

#### 6.2.1.6. TRIGLICÉRIDOS

Los valores de concentración de triglicéridos (TG) en yeguas de PRE del estudio de Calvo (2012) resultaron ser significativamente menores en la lactación comparados con los datos de los últimos meses de gestación. Como podemos ver en la Figura 6, la tendencia de los valores fue significativamente decreciente (Calvo, 2012). Esta evolución ya se había observado en los estudios de Watson, Burns, Packard y Shepherd (1993), que lo justificaron a la excreción de los triglicéridos a la leche para la formación del componente graso. Es importante añadir que, si bien los niveles de grasa en la leche de yegua son relativamente bajos (1,3-2%), la lactación necesita un aporte extra de ácidos grasos para la síntesis de lípidos. Por esto último, podríamos encontrar variaciones entre los diferentes estudios, según la proporción de grasas en las raciones de cada animal (Davison *et al.*, 1991; Karapehlivan *et al.*, 2007; Aoki, 2012).

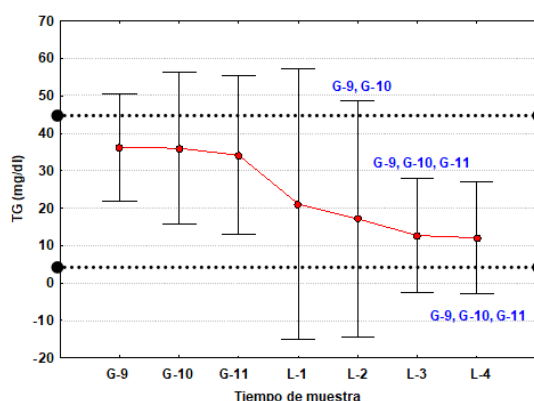


Figura 6. Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de TG [mg/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE. Las líneas punteadas reflejan los límites de los valores de referencia para caballos PRE adultos. En azul, las diferencias significativas de los valores entre los meses indicados (Calvo, 2012).

Los valores medios y la tendencia decreciente de TG obtenidos en yeguas PRE por Calvo (2012) coinciden con los estudios sobre hembras percheronas (Aoki e Ishii, 2012), PSI, standardbred, silla americano y morgan (Jeffcott, Field, McLean y O'Dea, 1986; Harvey *et al.*, 2005), árabes (Özpınar *et al.*, 2004) y Ponies (Watson *et al.*, 1993). En estos estudios la disminución duró desde 45 días (Özpınar *et al.*, 2004) hasta 4 meses (Harvey *et al.*, 2005; Calvo, 2012).

#### **6.2.1.7. GLUCOSA**

En diferentes razas equinas se ha observado un descenso de la glucemia (GLU) desde el momento del parto, punto en el que la mayoría de los estudios reportan el punto máximo. Esta tendencia decreciente se justifica con que, a la pérdida energética constante a través de la leche se suma el proceso doloroso y estresante del parto, que produce un aumento de CORT, el cual promueve la actuación de la gluconeogénesis (Wong, Smith, Thong, Opdebeeck y Thornton, 1992; Aoki e Ishii, 2012).

Sin embargo, los datos de Calvo (2012) en PRE, junto con los de Aoki e Ishii (2012) en percheronas, no reflejaron esa tendencia decreciente, sino que se mantuvo estable y similar a los valores de GLU de los últimos meses de gestación. Esta variación entre los estudios podría deberse al factor de la dieta, ya que como sugieren Doreau, Boulot, Bauchart, Barlet y Martin-Rosset (1992), la alimentación rica en concentrado eleva la glucemia en yeguas.

#### **6.2.1.8. UREA**

En las yeguas PRE del estudio de Calvo (2012) el nivel de Nitrógeno ureico en sangre (BUN) se mantuvo en intervalos similares a los últimos meses de gestación y no se modificó a lo largo de la lactación. En otros estudios consultados encontramos variabilidad de resultados. En algunos, como los de Gul *et al.* (2007) y Aoki e Ishii (2012) también se evidenció la estabilidad de este parámetro durante la lactación. En otras razas, Kumar *et al.* (2002) y Özpınar *et al.* (2004) mostraron un descenso del BUN a partir de la primera semana, que se resolvía a las 8 semanas de lactación. Sin embargo, Felbinger (1987) y Harvey *et al.* (2005) encontraron que este parámetro crecía a lo largo de la lactación en las yeguas de su estudio. Este aumento, que coincidía con el descenso de PPT y ALB, se relacionó con la movilización y el catabolismo de las reservas proteicas musculares.

La variabilidad de resultados en este parámetro puede justificarse por muchos factores que lo pueden alterar, como lo son la dieta, el momento del año, el grado de actividad física, el metabolismo proteico muscular o el número de partos (Calvo, 2012).



#### 6.2.1.9. CREATININA

Los valores mensuales de creatinina (CREAT) medidos durante los 4 primeros meses de lactación en yeguas PRE no tuvieron variaciones estadísticamente significativas. Sin embargo, los valores del tercer y cuarto mes fueron significativamente inferiores a la medición del último mes de gestación (momento de niveles máximos de CREA) (Calvo, 2012). Estos resultados coincidieron con los obtenidos por Gul *et al.* (2007). Como vemos en la Figura 7, el valor de la CREAT en el cuarto mes de lactación es significativamente menor comparado con el último mes de gestación.

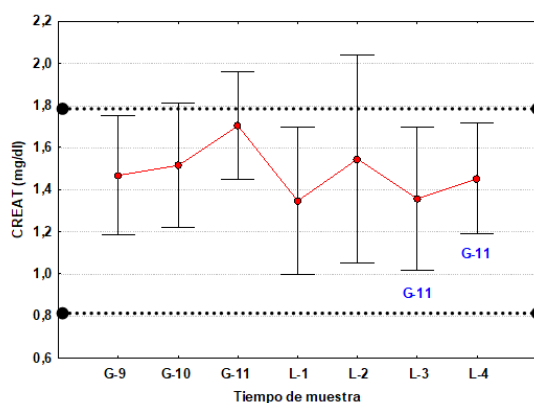


Figura 7. Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de CREAT [mg/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE. Las líneas punteadas reflejan los límites de los valores de referencia para caballos PRE adultos. En azul, las diferencias significativas de los valores entre los meses indicados (Calvo, 2012).

Otros autores observaron descensos en las concentraciones de CREAT en las dos semanas posteriores al parto. Esta diferencia podría haber pasado desapercibida por la metodología de cada estudio, mientras que los datos en PRE son mensuales, los de Kumar *et al.* (2002), Özpınar *et al.* (2004), Harvey *et al.* (2005) y Aoki e Ishii (2012) se realizaron en intervalos de tiempo más cortos.

### 6.3. ELECTROLITOS Y MINERALES DURANTE LA LACTACIÓN

En la Tabla 3 vemos los valores medios de cada parámetro de este capítulo. Podemos ver en negrita los valores máximos o mínimos que se exceden de los valores de referencia para PRE (Muñoz *et al.*, 2012). Más adelante se explicarán parámetro a parámetro las diferencias observadas en yeguas en lactación de PRE y otras razas.

Tabla 3. Valores medios  $\pm$  desviación estándar (valores máximos y mínimos entre paréntesis) de las concentraciones de electrolitos y minerales durante los 4 meses de lactación (L-1 a L-4) en yeguas PRE. Valores de referencia publicados para caballos PRE adultos (Calvo, 2012).

Parámetro (unidades)	L-1	L-2	L-3	L-4	Valores de referencia
Na (mmol/l)	146,1 $\pm$ 4,452 (139,0- <b>155,0</b> )	145,5 $\pm$ 6,758 ( <b>130,0-154,0</b> )	145,8 $\pm$ 5,112 (135,0- <b>154,0</b> )	146,1 $\pm$ 4,368 ( <b>132,0-153,0</b> )	135,0-146,0
K (mmol/l)	3,606 $\pm$ 0,806 ( <b>2,500-4,800</b> )	3,650 $\pm$ 0,805 ( <b>2,400-5,100</b> )	3,697 $\pm$ 0,659 ( <b>2,500-5,100</b> )	3,659 $\pm$ 0,705 ( <b>2,900-4,900</b> )	3,900-5,600
Cl (mmol/l)	107,9 $\pm$ 4,493 (96,00- <b>110,0</b> )	107,5 $\pm$ 3,064 (99,00- <b>114,0</b> )	108,3 $\pm$ 2,700 (104,0- <b>114,0</b> )	108,8 $\pm$ 2,851 (100,0- <b>113,0</b> )	95,00-106,0
Ca (mg/dl)	11,93 $\pm$ 1,018 (10,00-13,90)	12,06 $\pm$ 0,815 (10,00- <b>14,20</b> )	11,43 $\pm$ 1,230 ( <b>7,000-12,90</b> )	11,88 $\pm$ 1,076 (9,300- <b>14,20</b> )	7,129-13,98
P (mg/dl)	6,376 $\pm$ 2,383 ( <b>2,380-8,850</b> )	6,428 $\pm$ 2,186 ( <b>2,380-8,600</b> )	6,532 $\pm$ 2,712 ( <b>2,870-8,460</b> )	6,230 $\pm$ 2,139 ( <b>2,460-8,350</b> )	3,10-4,60
Mg (mg/dl)	3,489 $\pm$ 0,892 ( <b>1,670-4,580</b> )	3,062 $\pm$ 0,720 (2,280- <b>4,580</b> )	3,263 $\pm$ 0,720 (2,280- <b>4,580</b> )	2,903 $\pm$ 0,520 (2,250-3,860)	2,20-3,80

#### 6.3.1. SODIO

Los valores de concentración de sodio (Na) durante la lactación en yeguas PRE no sufrieron variaciones ni fueron diferentes a los observados durante la gestación (Calvo, 2012). Otros autores también reportaron esta tendencia en yeguas de otras razas (Harvey *et al.*, 2005). Sin embargo, Aoki e Ishii (2012) observaron unos valores de la natremia mayores en gestación, con un pico en el momento del parto que fue resolviéndose conforme avanzaba la lactación. Un aumento de los niveles de Na suele estar relacionado a la pérdida de fluidos por distintas vías (sudoración, respiraciones u otros como el propio parto) o por falta de ingesta de agua (Carlson y Bruss, 2008).

Esta diferencia en los resultados puede deberse a las distintas condiciones donde se realizaron los estudios de Aoki e Ishii (2012) y Calvo (2012) (humedad, temperatura, región geográfica, momento estacional de toma de muestras, dieta, suplementación electrolítica, nivel de

ejercicio, nivel de sudoración.) Según El-Amrousi y Soliman (1965) la edad no es un valor que parezca tener relación con el nivel del Na.

La hiponatremia no es común encontrarla en yeguas sanas, a pesar de la presencia de Na en leche, que durante la primera semana de lactación alcanza su pico máximo (Schryver *et al.*, 1986).

### **6.3.2. POTASIO**

Durante los cuatro primeros meses de gestación las yeguas PRE mantuvieron estables sus niveles de potasio (K), que tampoco difirieron de los obtenidos en los últimos meses de gestación (Calvo, 2012).

Los niveles medios coincidieron con los datos obtenidos en yeguas percheronas por Aoki e Ishii (2012) y la estabilidad de los valores con los estudios de Kumar *et al.* (2002) y Gul *et al.* (2007) en yeguas de otras razas.

Otros autores, como Harvey *et al.* (2005), describieron un descenso marcado de K durante la lactación cuando los comparaban con la concentración de K en la gestación. Esto se asoció a la migración del K plasmático a la glándula mamaria y no a ningún trastorno de desequilibrio ácido-básico de la yegua.

### **6.3.3. CLORO**

En yeguas PRE la concentración del cloro (Cl) no sufrió variaciones ni eran significativamente diferentes a los valores de los últimos meses de gestación. Las concentraciones de Cl medias mensuales durante la lactación coincidieron con los datos de Kumar *et al.* (2002), Harvey *et al.* (2005) y Aoki e Ishii (2012) en distintas razas, si bien las evoluciones sí que fueron diferentes (Calvo, 2012).

Es importante mencionar que en los estudios de Harvey *et al.* (2005) y Aoki e Ishii (2012) el parto condicionó un estado de hipercloremia, que se relacionó con una deshidratación secundaria a la pérdida hídrica de origen respiratorio y por sudoración intensa en el momento del parto (Carlson y Bruss, 2008; Aoki e Ishii, 2012).

La sudoración juega un papel importante en la concentración de Cl y Na, ya que son los principales cationes liberados en el sudor. También podrían estar implicados distintos factores ambientales en los diferentes registros de concentración de Cl de los estudios consultados (Muñoz, Trigo y Satué, 2006).

#### 6.3.4. CALCIO

Los niveles de calcio (Ca) en yegua PRE no evidenció grandes cambios ni respecto a los últimos meses de gestación. Los valores medios de Calvo (2012) en PRE fueron similares a los obtenidos en varios estudios sobre diferentes razas (Felbinger, 1987; Harvey *et al.*, 2005; Filipovic, 2010; Aoki e Ishii, 2012), aunque ligeramente superiores a los de yegua árabe (Özpınar *et al.*, 2004) y otras razas (Rook *et al.*, 1997).

Felbinger (1987) y Harvey *et al.* (2005), que tomaron datos de manera más frecuente en los momentos cercanos al parto, reportaron un descenso inicial del Ca sanguíneo durante el parto que se recuperó hacia el tercer mes de gestación. En el caso de Calvo (2012), al ser estos testeos mensuales, no se vio este cambio en sus registros. Este descenso se atribuyó a los requisitos metabólicos de la producción de leche, aunque no podríamos obviar otros factores como la dieta.

El descenso de Ca total en sangre se cifró en un 12% en yeguas de forma transitoria en el estudio de Martin, Hoffman, Kronfeld, Ley y Warnick (1996) y se justificó con la elevación de PTH a los 2 días del parto.

Por el contrario, otros estudios han vinculado una subida en la concentración plasmática de Ca al periodo de lactación. Este aumento se debe a que, ante situaciones de mayor necesidad de Ca como lo es la lactación, el organismo responde con distintas hormonas (Calcitriol, E2, prolactina y lactógeno placentario) (Kovacks, 2005). Estas sustancias promueven la movilización del Ca óseo, la absorción en el intestino y evitan el aclaramiento renal de Ca para poder retener y aprovechar todo el Ca posible. Esta situación de mayor necesidad de Ca se podría justificar ya que la leche de yegua tiene mucho contenido de Ca:  $13,45 \pm 66 \mu\text{g/g}$  de leche en la primera semana, momento de mayor concentración en leche.

### 6.3.5. FÓSFORO

Los niveles de fósforo (P) plasmático en yeguas PRE durante la lactación no sufrieron modificaciones desde el primer al cuarto mes. Sin embargo, sí que fueron significativamente superiores a los datos recogidos al final de la gestación (Calvo, 2012), como vemos en la gráfica de la Figura 8. En los estudios de Harvey *et al.* (2005) también se observó este fenómeno de aumento respecto a la gestación, si bien ellos sí observaron variaciones significativas a lo largo de la gestación.

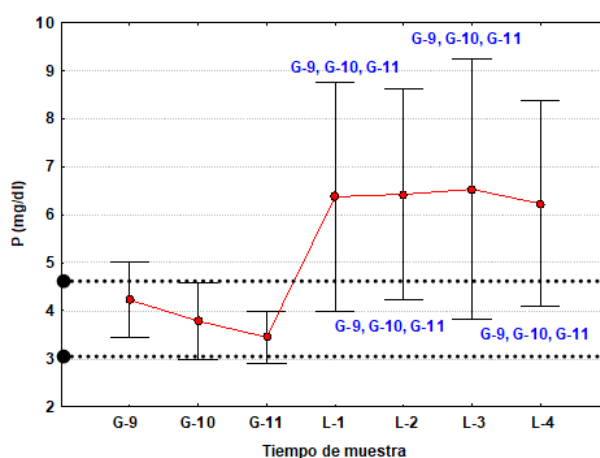


Figura 8. Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de P [mg/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE. Las líneas punteadas reflejan los límites de los valores de referencia para caballos PRE adultos. En azul, las diferencias significativas de los valores entre los meses indicados (Calvo, 2012).

El aumento del P se debe al aumento de la reabsorción ósea y a la disminución renal del P (Kovacs, 2005). El momento del parto también puede inducir el aumento de los niveles de P debido a la situación de catabolismo celular incrementado (Rosol y Capen, 1997).

Los estrógenos también parecen tener su influencia sobre los niveles de P plasmático (Filipovic, 2010). En mujeres lactantes, cuando la concentración de estrógenos baja, se produce un incremento en la movilización ósea (Kovacs, 2005).

En yeguas, el descenso de E2 post parto podría aumentar los niveles de Ca y P, así como la reabsorción ósea durante la lactación (Filipovic, 2010). Aun así, en yeguas PRE no se evidenció tal relación entre E2, Ca y P (Calvo, 2012).

En otros estudios como el de Aoki e Ishii (2012), se observaron descensos en el P sanguíneo durante la lactación. Esta reducción se relacionó con la dieta. Las dietas con alto contenido en Ca restringen la disponibilidad del P, reduciendo los niveles plasmáticos (Aoki e Ishii, 2012).

### 6.3.6. MAGNESIO

Las concentraciones plasmáticas de magnesio (Mg) en PRE no se ven alteradas conforme avanza la lactación, aunque si se encontró una diferencia significativa entre el tercer mes de lactación (punto máximo) y el décimo mes de gestación (punto más bajo), como vemos en la gráfica de la Figura 9 (Calvo, 2012). Estos datos coinciden con los obtenidos por Aoki e Ishii (2012) en yeguas de distintas razas.

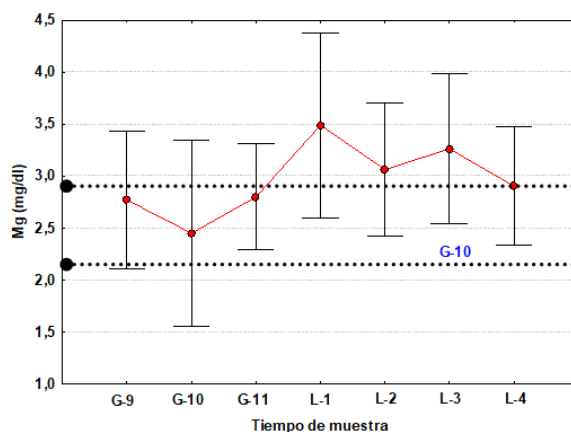


Figura 9. Gráfica de evolución de la concentración sanguínea de Mg [mg/dl] en yeguas en gestación y en lactación de PRE. Las líneas punteadas reflejan los límites de los valores de referencia para caballos PRE adultos. En azul, las diferencias significativas de los valores entre los meses indicados (Calvo, 2012).

Este fenómeno se relaciona con una mayor movilización para cubrir las necesidades de desarrollo ósea fetal que existen en gestación y no en lactación (Schryver *et al.*, 1986). Aun así, el Mg no es tan abundante en la leche como otros minerales (Ca y P), por lo que su movilización hacia la glándula mamaria no es relevante (Schryver *et al.*, 1986).

## 6.4. ACTIVIDADES ENZIMÁTICAS DURANTE LA LACTACIÓN

En la Tabla 4 vemos los valores medios de cada parámetro de este capítulo. Podemos ver en negrita los valores máximos o mínimos que se exceden de los valores de referencia para PRE (Muñoz *et al.*, 2012). Más adelante se explicarán parámetro a parámetro las diferencias observadas en yeguas en lactación de PRE y otras razas.

Tabla 4. Valores medios  $\pm$  desviación estándar (valores máximos y mínimos entre paréntesis) de las actividades enzimáticas durante los 4 meses de lactación (L-1 a L-4) en yeguas PRE. Valores de referencia publicados para caballos PRE adultos (Calvo, 2012).

Parámetro (unidades)	L-1	L-2	L-3	L-4	Valores de referencia
CK (UI/l)	102,6 $\pm$ 43,97 (77,36-176,0)	108,3 $\pm$ 35,83 (67,00-186,0)	99,06 $\pm$ 41,53 <b>(61,53-148,0)</b>	101,0 $\pm$ 36,84 (69,30-178,0)	60,00-340,0
AST (UI/l)	166,7 $\pm$ 45,24 <b>(81,20-276,0)</b>	166,6 $\pm$ 35,11 <b>(98,00-287,0)</b>	163,8 $\pm$ 42,25 <b>(96,00-276,0)</b>	165,7 $\pm$ 35,57 <b>(104,0-276,0)</b>	108,0-316,0
FAL (UI/l)	256,6 $\pm$ 56,75 (154,0- <b>414,1</b> )	268,4 $\pm$ 70,21 (184,0- <b>414,0</b> )	268,4 $\pm$ 50,09 (180,0- <b>372,0</b> )	270,9 $\pm$ 59,13 (187,0- <b>382,0</b> )	55,45-255,3
GGT (UI/l)	17,74 $\pm$ 6,573 (6,632- <b>35,18</b> )	22,82 $\pm$ 4,921 (11,00- <b>25,80</b> )	18,52 $\pm$ 7,554 (7,554- <b>42,54</b> )	17,27 $\pm$ 4,333 (9,720- <b>26,00</b> )	2,7-22,4

### 6.4.1. CREATIN KINASA

La concentración de Creatin Kinasa (CK) en yeguas PRE no varió durante los primeros meses de lactación. Tampoco se apreciaron diferencias significativas con los últimos meses de gestación (Calvo, 2012). Los datos medios de CK en PRE resultaron inferiores a los obtenidos en yeguas PSI y Cuarto de milla (Taylor-Macallister *et al.*, 1997) al igual que en percherones (Aoki e Ishii, 2012).

Los niveles de CK aumentan cuando existe daño muscular leve, ya que esta sustancia se encuentra en el músculo esquelético y cardíaco (Muñoz *et al.*, 2006; Muñoz, Riber, Trigo y Castejón, 2010). Es posible encontrar una elevación de CK post parto por la actividad muscular del propio proceso físico del parto.

#### **6.4.2. ASPARTATO AMINOTRANSFERASA**

La actividad de la Aspartato Aminotransferasa (AST) en yeguas PRE en lactación no registró variaciones ni en los primeros cuatro meses ni diferencias respecto a los últimos meses de gestación (Calvo, 2012).

Otros autores, como Herak y Herak (1966), Flisińska-Bojanowska, Gill y Komosa (1991) y Milinkovic-Tur, Peric, Stojevic, Zdelar-Tuk y Pirslijin (2005), mostraron un descenso de la AST en yeguas hacia el final de la gestación que se recuperaba posteriormente al inicio de la lactación.

La AST se encuentra en el tejido muscular cardíaco y esquelético, es bastante ubicua y no es exclusiva del músculo estriado. Elevaciones en este parámetro pueden deberse a lesiones hepáticas, disminuciones del aclaramiento enzimático o interacciones con los glucocorticoides (Antunovic, Šperanda y Steiner, 2004).

En cuanto a los valores medios, los niveles en yeguas PRE (Calvo, 2012) fueron significativamente menores a los obtenidos en yeguas PSI (Felbinger, 1987; Taylor-Macallister *et al.*, 1997; Harvey *et al.*, 2005) y percheronas (Aoki e Ishii, 2012). También habría que destacar que estos últimos datos fueron datos postparto y el daño muscular asociado al parto podría ser el causante de ese aumento (Calvo, 2012).

#### **6.4.3. FOSFATASA ALCALINA**

La Fosfatasa Alcalina (FAL) no sufrió variaciones significativas en yeguas PRE durante los cuatro primeros meses de lactación ni respecto a los últimos meses de gestación (Calvo, 2012). Los valores de PRE resultaron ser inferiores a los descritos en yeguas de otras razas (Taylor-Macallister *et al.*, 1997; Harvey *et al.*, 2005; Aoki, 2012).

Aoki e Ishii (2012) reflejó una tendencia de la FAL creciente hasta el momento del parto, un pico en este momento (punto máximo) y más tarde se fue normalizando durante el proceso de la lactación.

Sin embargo, los estudios de Harvey *et al.* (2005), Tasker (1978) y Filipovic (2010) en yeguas de distintas razas registraron un pico de actividad de esta enzima a los 14 días, que más tarde se estabilizó durante toda la lactación. Esto se relacionó con el desarrollo y la funcionalidad de la glándula mamaria y a condiciones estresantes inductoras de hepatopatías (Aoki e Ishii, 2012).



#### **6.4.4. GAMMA GLUTAMIL TRANSFERASA**

La actividad de la Gamma Glutamil Transferasa (GGT) en yeguas PRE en lactación no varió ni en los primeros meses de lactación ni respecto a los últimos meses de gestación (Calvo, 2012). Esta tendencia ya se observó en yeguas con los estudios de Meuten (1980).

Otros estudios observaron aumentos en la GGT, como Aoki e Ishii (2012), que lo asoció a la acción de los glucocorticoides, con una ligera sobrecarga hepática.

En cuanto a valores medios, la GGT en lactación de yeguas PRE resultaron ser inferiores a las mostradas por yeguas PSI (Felbinger, 1987), percheronas (Aoki e Ishii, 2012) y otras razas (Harvey *et al.*, 2005).

## **7. CONCLUSIONES**

A partir de todas las comparaciones entre distintos artículos, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- PRIMERA. A pesar de la lactación y una posible gestación tras pocos días después del parto, la yegua PRE presenta estabilidad en la mayoría de las concentraciones de hormonas, enzimas y parámetros bioquímicos más utilizados clínicamente.
- SEGUNDA. Los parámetros que se han visto influenciados por la lactación han sido los TG en cuanto a su evolución a lo largo de la lactación y P4, P, Mg, CREAT y ALB en comparación con los datos del final de la gestación.
- TERCERA. No se ha encontrado ninguna relación estadísticamente significativa entre los cambios en los valores de hormonas y la alteración de otros parámetros estudiados.
- CUARTA. Las diferencias entre yeguas PRE y yeguas de otras razas pueden deberse a las distintas metodologías de cada estudio o, según el parámetro de condiciones ambientales.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AboEl-Maaty, A. M. (2011). Stress and its effects on horses reproduction. *Veterinary Science Development*, 1(1), e13.
2. Antunovic, Z., Šperanda, M. y Steiner, Z. (2004). The influence of age and the reproductive status to the blood indicators of the ewes. *Arch. Tierzucht. Dumm.* 47, 265-273.
3. Aoki, T. e Ishii, M. (2012). Hematological and Biochemical Profiles in Peripartum Mares and Neonatal Foals (Heavy Draft Horse). *Journal of Equine Veterinary Science*, 32, 170-176.
4. Aurich C. (2011). Reproductive cycles of horses. *Animal reproduction science*, 124(3-4), 220–228.
5. Bartosova, J., Komorkova, M., Dubcova, J., Bartos, L. y Pluhacek, J. (2011). Concurrent lactation and pregnancy: pregnant domestic horse mares do not increase mother-offspring conflict during intensive lactation. *PLOS One* 6(8), 1-4.
6. Bergfelt, D.R. y Adams G.P. (2007). Ovulation and corpus luteum development. En: Rudolph, P. (Eds), *Current Therapy in Equine Reproduction* (pp. 1-13). St. Louis, Missouri: Saunders Company Publisher.
7. Burkholder, W.J. (2000). Use of body condition scores in clinical assessment of the provision of optimal nutrition. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 217(5), 650-652.
8. Burns, H.D., Gibbs, P.G. y Potter, G.D. (1992). Milk- energy production by lactating mares. *Journal of Equine Veterinary Science* 12, 118-120.
9. Calvo, A. (2012). Hematología, Bioquímica sanguínea y Endocrinología en yeguas PRE durante el Ciclo Estral, la Gestación y la Lactación [Tesis doctoral]. Valencia: Universidad CEU-Cardenal Herrera.
10. Carlson, G. y Bruss, M. (2008). Fluid, Electrolyte, and Acid-Base Balance. In *Clinical Biochemistry of Domestic Animals* (pp. 529-559). Elsevier.
11. Crowell-Davis, S.L. (2007). Sexual behaviour of mares. *Hormones and Behavior* 52(1), 12-17.
12. Davison, K.E., Potter, G.D., Greene, L.W., Evans, J.W. y McMullan, W.C. (1991). Lactation and reproductive performance of mares fed added dietary fat during late gestation and early lactation. *Journal Equine Vet. Sci.*, 11(2), 111-115.
13. Deichsel, K. y Aurich, J. (2005). Lactation and lactational effects on metabolism and reproduction in the horse mare. *Livestock Prod. Sci* 98, 25-30.
14. Doreau, M., Boulot, S., Barlet, J. P. y Patureau-Mirand, P. (1990). Yield and composition of milk from lactating mares: effect of lactation stage and individual differences. *The Journal of dairy research*, 57(4), 449–454.

15. Doreau, M., Boulot, S., Bauchart, D., Barlet, J. P. y Martin-Rosset, W. (1992). Voluntary intake, milk production and plasma metabolites in nursing mares fed two different diets. *The Journal of nutrition*, 122(4), 992–999.
16. Eckersall, P.D. (2008). Proteins, proteomics, and the dysproteinemias. En: Kaneko, J.J., Harvey, J.W., Bruss, M.L. (Eds), *Clinical biochemistry of domestic animals*. (pp. 117-155) Amsterdam: Elsevier/Academic Press.
17. El-Amrousi, S. y Soliman, M. K. (1965). Serum calcium, potassium and sodium of healthy horses three to fourteen years of age. *The Canadian veterinary journal = La revue veterinaire canadienne*, 6(10), 253–256.
18. Felbinger, U. (1987). Selected serum constituents in pregnant and lactating Thoroughbred mares. *Journal Vet. Med.* 43(2), 96-103.
19. Flisińska-Bojanowska, A., Gill, J. y Grzelkowska, K. (1992). Diurnal changes in cortisol level, neutrophil number and lysozyme activity in foals during the first 13 weeks of life and in their lactating mothers. *Zentralblatt fur Veterinarmedizin. Reihe A*, 39(9), 641–647.
20. Flisińska-Bojanowska, A., Gill, J. y Komosa, M. (1991). Influence of pregnancy and lactation on diurnal and seasonal changes in lactic acid and pyruvic acid levels and in values of pH, pCO<sub>2</sub> and pO<sub>2</sub> in the mare blood. *Comparative biochemistry and physiology. A, Comparative physiology*, 98(3-4), 497–501.
21. Gill, J., Kaompanowska-Jeziersk, E., Jakubow, K., Kott, A. y Szumska, D. (1985). Seasonal changes in the white blood cell system, lysozyme activity and cortisol level in Arabian broodmares and their foals. *Comparative Biochemistry and Physiology* 81(3), 511-523.
22. Ginther, O.J., Beg, M.A., Gastal, M.O. y Gastal, E.L. (2004) Follicle dynamics and selection in mares. *Animal Reproduction* 1, 45-63.
23. Gul. S.T., Ahmad, M., Khan, A. y Hussain, I. (2007). Haemato-biochemical observations in apparently healthy equine species. *Pakistan Vet. Journal* 27(4), 155-158
24. Harvey, J. W., Pate, M. G., Kivipelto, J. y Asquith, R. L. (2005). Clinical biochemistry of pregnant and nursing mares. *Veterinary clinical pathology*, 34(3), 248–254.
25. Harvey, J.W., Asquith, R.L., Pate, M.G., Kivipelto, J., Chen, C.L. y Ott, E.A. (1994). Haematological findings in pregnant, postparturient and nursing mares. *Comparative Haematology International* 4, 25-29.
26. Heidler, B., Aurich, J.E., Pohl, W. y Aurich, C.H.R. (2004). Body weight of mares and foals, estrous cycles and plasma glucose concentration in lactating and non-lactating Lipizzaner mares. *Theriogenology* 61, 883-893.

27. Heidler, B., Parvizi, N., Sauerwein, H., Bruckmaier, R.M., Heintges, U., Aurich, J.E. y Aurich, C.H.R. (2003). Effects of lactation on metabolic and reproductive hormones in Lipizzaner mares. *Domest. Anim. Endocrinol* 25, 47-59.
28. Henneke, D.R., Potter, G.D. y Kreider, J.L. (1984). Body condition during pregnancy and lactation and reproductive efficiency of mares. *Theriogenology* 21, 897-909.
29. Herak, M.; y Herak. M. (1966). Razlike u aktivnosti transaminaza u krvnom serumu gravidnih i negravidnih goveda i promjene njihove aktivnosti u pojedinim mjesecima graviditeta. *The journal Veterinarski arhiv*. 36, 61-65.
30. Hess-dudan, F., Vacher, P.-Y., Bruckmaier, R., Weishaupt, M., Burger, D. y Blum, J. (1994), Immunoreactive insulin-like growth factor I and insulin in blood plasma and milk of mares and in blood plasma of foals. *Equine Veterinary Journal*, 26: 134-139.
31. Hoffman, R. M., Kronfeld, D. S., Cooper, W. L. y Harris, P. A. (2003). Glucose clearance in grazing mares is affected by diet, pregnancy, and lactation. *Journal of animal science*, 81(7), 1764–1771.
32. Holtan, D. W., Nett, T. M. y Estergreen, V. L. (1975). Plasma progestins in pregnant, postpartum and cycling mares. *Journal of animal science*, 40(2), 251–260.
33. Jeffcott, L. B., Field, J. R., McLean, J. G. y O'Dea, K. (1986). Glucose tolerance and insulin sensitivity in ponies and Standardbred horses. *Equine veterinary journal*, 18(2), 97–101.
34. Karapehlivan, M., Atakisi, E., Atakisi, O., Yuçayurt, R. y Pancarci, S.M. (2007). Blood biochemical parameters during the lactation and dry period in Tuj ewes. *Small Ruminant Research* 73, 267-271.
35. Korhonen, H., Marnila, P. y Gill, H. S. (2000). Milk immunoglobulins and complement factors. *The British Journal of Nutrition*, 84(1), 75–80.
36. Krakowski, L., Brodzki, P., Krakowska, I., Opielak, G., Marczuk, J. y Piech, T. (2020). The Level of Prolactin, Serum Amyloid A, and Selected Biochemical Markers in Mares Before and After Parturition and Foal Heat. *Journal of equine veterinary science*, 84, 102854.
37. Kubiak, J.R., Evans, J.W., Potter, G.D., Harms, P.G. y Jenkins, W.L. (1991). Milk yield and composition in the multiparous mare fed to obesity. *Journal of Equine Veterinary Science* 11(3), 158-162.
38. Kumar, M. A., Kumar, J. y Singh, Y. (2002). Sequential alterations in some of the haemato-biochemical during post foaling period in Kathiawari mares. *Indian Journal Animal Science* 72(8), 640-642.

39. Martin, K. L., Hoffman, R. M., Kronfeld, D. S., Ley, W. B. y Warnick, L. D. (1996). Calcium decreases and parathyroid hormone increases in serum of periparturient mares. *Journal of animal science*, 74(4), 834–839.
40. Mccue, P.M. (1993). Lactation. En: Mckininnon, A.O. y Voss, J.L. (Eds). *Equine Reproduction*. (pp.588-595). Philadelphia: Lea & Febiger.
41. Milinkovic-Tur, S., Peric, V., Stojevic, Z., Zdelar-Tuk, M. y Pirslijin, J. (2005). Concentrations of total proteins and albumins, and AST, ALT and GGT activities in blood plasma of mares during pregnancy and early lactation. *The journal Veterinarski arhiv* 75(3), 195-202.
42. Muñoz, A., Riber, C., Trigo, P. y Castejón, F.M. (2012). Age- and gender-related variations in hematology, clinical biochemistry, and hormones in Spanish fillies and colts. *Research in Veterinary Science* 93(2), 943-949.
43. Muñoz, A., Riber, C., Trigo, P. y Castejón, F. (2010). Muscle damage, hydration, electrolyte balance and vasopressin concentrations in successful and exhausted endurance horses. *Polish journal of veterinary sciences*, 13(2), 373–379.
44. Muñoz, A., Trigo, P. y Satué, K. (2006). Perfiles hematológicos y bioquímicos aplicados al caballo de deporte: cambios con el ejercicio y el entrenamiento. *Equinus* 14, 39-51.
45. Nagy, P., Huszenicza, G., Reiczigel, J., Juhász, J., Kulcsár, M., Abaváry, K. y Guillaume, D. (2004). Factors affecting plasma progesterone concentration and the retrospective determination of time of ovulation in cyclic mares. *Theriogenology*, 61(2-3), 203–214.
46. Naylor, J. M. y Bell, R. (1985). Raising the orphan foal. *The Veterinary clinics of North America. Equine practice*, 1(1), 169–178.
47. Neuschaefer, A., Bracher, V. y Allen, W. R. (1991). Prolactin secretion in lactating mares before and after treatment with bromocriptine. *Journal of reproduction and fertility. Supplement*, 44, 551–559.
48. Oftedal, O.T, Hintz, H.F. y Schryver, H.F. (1983). Lactation in the horse: milk composition and intake by foals. *The Journal of Nutrition* 113, 2096-2106.
49. Ousey J. C. (2004). Peripartal endocrinology in the mare and foetus. *Reproduction in domestic animals = Zuchthygiene*, 39(4), 222–231.
50. Özpınar, A., Susut, M.D. y Firat, A. (2004). Changes in selected blood serum indices before and after parturition in mares. *Med. Vet.* 60(12), 1283-1286.
51. Piccione, G., Alberghina, D., Marafioti, S., Giannetto, C., Casella, S., Assenza, A. y Fazio, F. (2012). Electrophoretic serum protein fraction profile during the different physiological phases in Comisana ewes. *Reproduction in domestic animals = Zuchthygiene*, 47(4), 591–595.

52. Rook, J. S., Braselton, W. E., Nachreiner, R. F., Lloyd, J. W., Shea, M. E., Shelle, J. E. y Hitzler, P. R. (1997). Multi-element assay of mammary secretions and sera from periparturient mares by inductively coupled argon plasma emission spectroscopy. *American journal of veterinary research*, 58(4), 376–378.
53. Rosol, T.J. y Capen, C.C. (1997) Calcium-regulating hormones and diseases of abnormal mineral (calcium, phosphorus, magnesium) metabolism. En: Kaneko, J.J.; Harvey, J.W.; Bruss, M.L. (Eds), *Clinical Biochemistry in Domestic Animals* (pp. 619-702). San Diego: Academic Press.
54. Schryver, H. F., Oftedal, O. T., Williams, J., Cymbaluk, N. F., Antczak, D. y Hintz, H. F. (1986). A comparison of the mineral composition of milk of domestic and captive wild equids (*Equus przewalski*, *E. zebra*, *E. burchelli*, *E. caballus*, *E. assinus*). *Comparative biochemistry and physiology. A, Comparative physiology*, 85(2), 233–235.
55. Schryver, H. F., Oftedal, O. T., Williams, J., Soderholm, L. V. y Hintz, H. F. (1986). Lactation in the horse: the mineral composition of mare milk. *The Journal of nutrition*, 116(11), 2142–2147.
56. Schweigert, F. J. y Gottwald, C. (1999). Effect of parturition on levels of vitamins A and E and of beta-carotene in plasma and milk of mares. *Equine veterinary journal*, 31(4), 319–323.
57. Shirazi, A., Naslaji, A. y Bolourchi, M. (2004). Plasma estradiol-17 and progesterone during estrous cycle in Caspian mares. *Archives of Razi Institute Journal* 56, 81-92.
58. Squires, E. L., Wentworth, B. C. y Ginther, O. J. (1974). Progesterone concentration in blood of mares during the estrous cycle, pregnancy and after hysterectomy. *Journal of animal science*, 39(4), 759–767.
59. Tasker J. B. (1978). Reference values for clinical chemistry using the Coulter Chemistry System. *The Cornell veterinarian*, 68(4), 460–479.
60. Taylor-MacAllister, C., MacAllister, C. G., Walker, D. y Aalseth, D. (1997). Haematology and serum biochemistry evaluation in normal postpartum mares. *Equine veterinary journal*, 29(3), 234–235.
61. Ullrey, D. E., Struthers, R. D., Hendricks, D. G. y Brent, B. E. (1966). Composition of mare's milk. *Journal of animal science*, 25(1), 217–222.
62. Watson, T. D., Burns, L., Packard, C. J. y Shepherd, J. (1993). Effects of pregnancy and lactation on plasma lipid and lipoprotein concentrations, lipoprotein composition and post-heparin lipase activities in Shetland pony mares. *Journal of reproduction and fertility*, 97(2), 563–568.

63. Wong, C. W., Smith, S. E., Thong, Y. H., Opdebeeck, J. P. y Thornton, J. R. (1992). Effects of exercise stress on various immune functions in horses. *American journal of veterinary research*, 53(8), 1414–1417.